



Introdução à física dos fluidos

Prof. Bruno Suarez Pompeo

Descrição

Você vai compreender os conceitos básicos dos fluidos, incluindo os princípios essenciais das áreas de hidrostática e hidrodinâmica.

Propósito

Compreender os conceitos de hidrostática e hidrodinâmica, que fazem parte do estudo dos fluidos, é fundamental para profissionais de diversas áreas da engenharia, especialmente nas especialidades hidráulica, mecânica, nuclear, aeronáutica e naval.

Objetivos

Módulo 1

Noções básicas de fluidos

Reconhecer as noções básicas de fluidos.

Módulo 2

Princípios da hidrostática

Identificar os princípios da hidrostática.

Módulo 3

Princípios da hidrodinâmica

Identificar os princípios da hidrodinâmica.



Introdução

Há milhões de anos, desde a origem do gênero Homo, na África, a vida do ser humano está diretamente relacionada ao ar e à água. Alguns historiadores e arqueólogos, inclusive, defendem a ideia de que a espécie *homo sapiens* superou a barreira marítima de migração, utilizando pequenas embarcações, há cerca de 45 mil anos.

Os primeiros registros de estudos feitos em relação a fluidos datam da Antiguidade, a partir de livros escritos pelo cientista Arquimedes de Siracusa, que viveu no século III *AEC*. Esses registros contêm um dos princípios fundamentais da hidrostática: a lei do empuxo, que será discutida neste conteúdo.

Abordaremos os conceitos e princípios fundamentais da hidrostática e hidrodinâmica — campos da física que estudam, basicamente, o comportamento dos fluidos.

Material para download

Clique no botão abaixo para fazer o download do conteúdo completo em formato PDF.

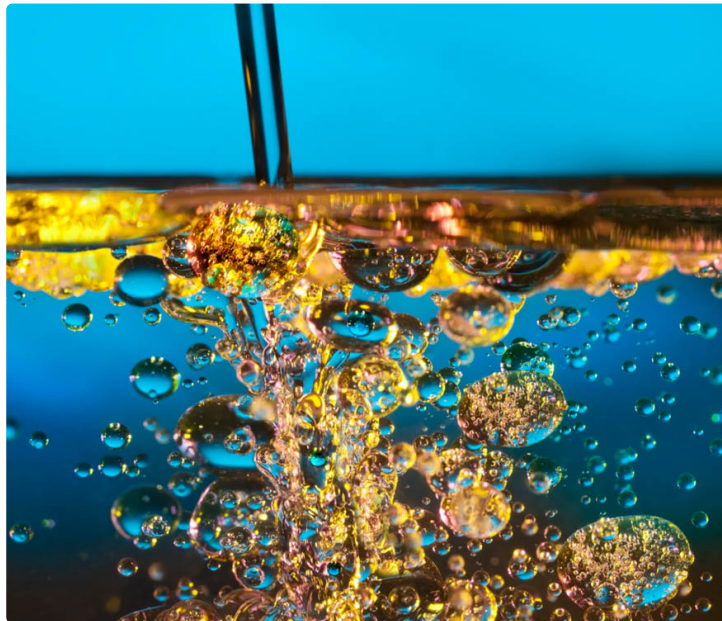
[Download material](#)

Homo sapiens

Espécie humana da qual fazemos parte, surgida há cerca de 350 mil anos no leste da África.

AEC

O uso das siglas AEC (antes da Era Comum) e EC (Era Comum) tem como objetivo uma escrita inclusiva, sem distinção de crença ou cultura. São equivalentes aos termos antes de Cristo (a.C.) e depois de Cristo (d.C.).



1 - Noções básicas de fluidos

Ao final deste módulo, você será capaz de reconhecer as noções básicas de fluidos.

Fluidos

Antes de estudar os princípios de hidrostática e hidrodinâmica, que são partes do estudo dos fluidos, é essencial entender o que é um fluido. Em

seguida, revisaremos alguns conceitos básicos importantes para uma compreensão mais completa dessas áreas de estudo.

Uma substância em estado sólido possui uma forma bem definida, caracterizada pela sua estrutura de formação atômica.



Vidrarias com substâncias em estados líquido e gasoso.

Já substâncias que se encontram em outros estados de agregação, não possuindo forma específica, ou melhor, substâncias que assumem a forma do recipiente que as contém são chamadas de **fluidos**. Isso é possível porque essas substâncias possuem uma propriedade chamada **escoamento**, ou seja, suas moléculas não resistem a determinadas tensões existentes em sua formação.

Em resumo, podemos dizer que líquidos e gases são chamados de fluidos.

Massa específica X Densidade

No estudo da hidrostática e hidrodinâmica, que são áreas focadas nos fluidos, ao contrário da dinâmica, em que geralmente trabalhamos com corpos sólidos e nos concentramos na quantificação da inércia conhecida como massa, utilizamos frequentemente outra grandeza chamada de **massa específica**. Compare a relação entre massa específica e densidade!

Massa específica

É dada pela razão entre a quantidade de massa dessa substância

Densidade

É dada pela razão entre a massa desse corpo e

dividida pelo volume
que ela ocupa, ou seja:

$$\mu = \frac{m}{V}.$$

Sua unidade no Sistema
Internacional (SI) é
 kg/m^3 .

×

o volume ocupado por
ele, ou seja: $d = \frac{m}{V}$.

Sua unidade no Sistema
Internacional (SI) é
 kg/m^3 .



Quer dizer que massa específica é igual a densidade? Podem ser iguais,
vejamos um exemplo!



Toque nos pontos em destaque.



Óleo sendo derramado na água.

A massa específica é definida como uma propriedade inerente de uma
substância.

A densidade é uma propriedade de um corpo.

A massa específica do aço é de aproximadamente 7.860 kg/m^3 .

Uma bola totalmente feita de aço poderá ter densidade igual a aproximadamente 7.860 kg/m^3 , mas somente se for uma bola maciça.

Se pegarmos uma bola oca feita de aço, da mesma dimensão de uma maciça, sua densidade será menor que a massa específica, visto que, embora o volume seja o mesmo, a massa será menor.

Devido à diferença apresentada, alguns autores chamam a massa específica de **densidade absoluta**, compare a densidade das duas bolas a seguir.



Shutterstock.com



Shutterstock.com

Bola de aço maciça e bola de aço oca.

Veremos que densidade e massa específica são conceitos que ajudarão a identificar se um corpo afunda ou flutua em determinado líquido.

Se um corpo é mais denso que o líquido em que se encontra, ele afundará. Caso contrário, flutuará, confira o exemplo na imagem.

 Toque nos pontos em destaque.



Óleo sendo derramado na água.

Densidade < densidade da água

Densidade > densidade da água

Outro conceito bastante usado em hidrostática é o **peso específico**, que é a massa específica multiplicada pela aceleração da gravidade no local da análise, confira a seguir.



$$\rho = \frac{mg}{V} = \frac{P}{V}$$

Sua unidade no Sistema Internacional (SI) é N/m³.

Pressão

É uma noção bem intuitiva! Você consegue explicar o que significa pressionar algo em termos físicos?

Compare duas situações relacionadas ao transporte de um colchão de tamanho king size em uma caçamba de caminhão.



Situação 1

O colchão viaja em pé, ou seja, com sua maior dimensão na vertical.



Situação 2

O colchão viaja deitado, ou seja, com sua maior dimensão na horizontal.

Agora, com essas situações em mente, tente responder à pergunta a seguir.

Em qual das duas situações há maior pressão na caçamba do caminhão?

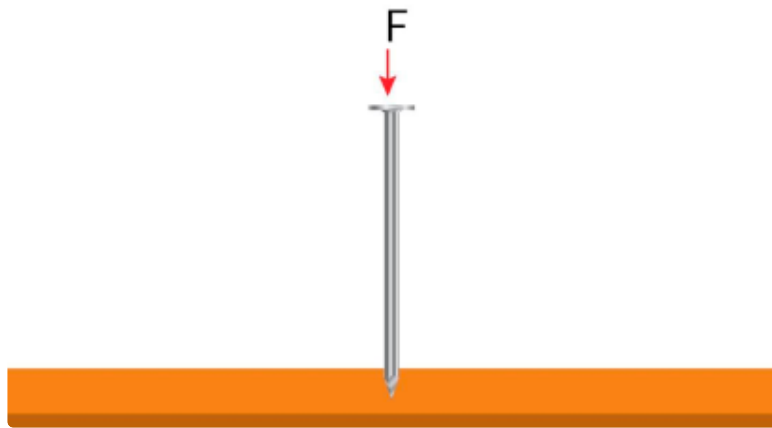


Toque em um dos botões para responder.

Situação 1

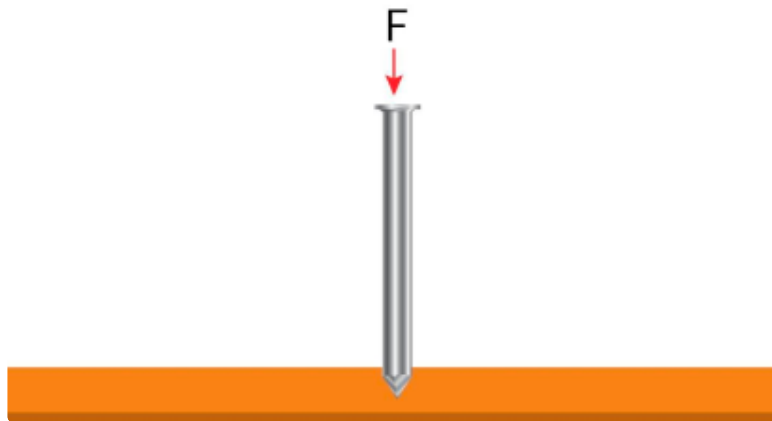
Situação 2

Vamos analisar mais um exemplo! Observe os três pregos a seguir, em que a **mesma força (F)** é aplicada a cada um deles utilizando um martelo.



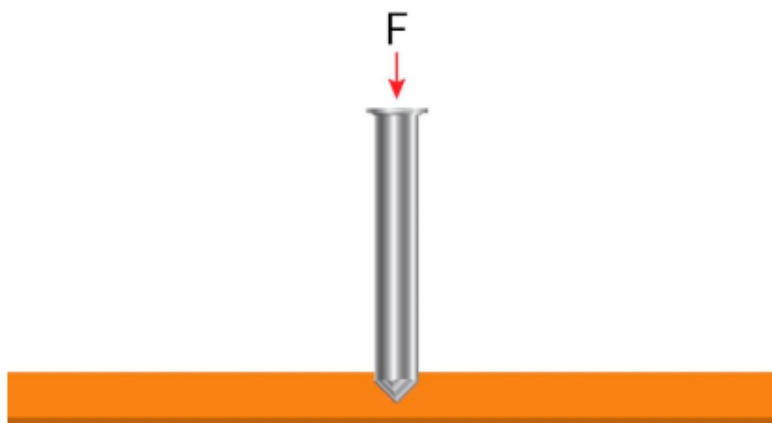
Prego 1

A área de contato do prego 1, o mais fino, é menor, ocasionando **maior pressão** na madeira.



Prego 2

A área de contato do prego 2 é maior que a do prego 1, ocasionando **menor pressão** na madeira.



Prego 3

A área de contato do prego 3, o mais grosso, é maior que a do prego 1 e do prego 2, ocasionando **maior pressão** na madeira.

As análises realizadas confirmam a definição do que é pressão: a razão entre a força perpendicular a uma superfície e a área de atuação dessa força, ou seja:

$$p = \frac{F}{A}$$

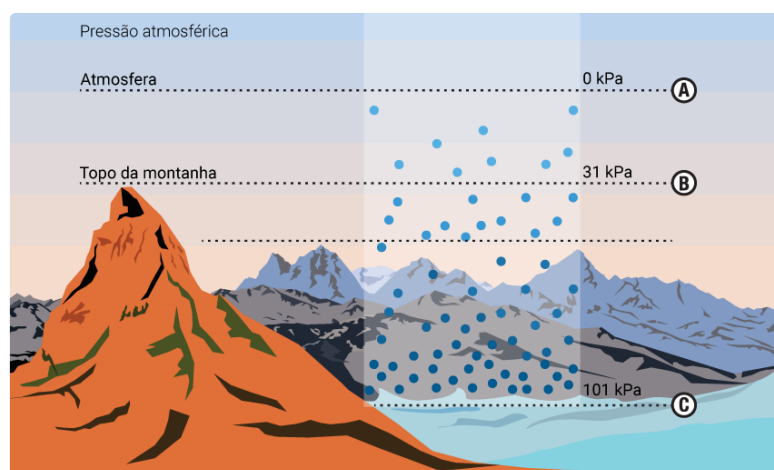
Sua unidade no Sistema Internacional (SI) é N/m^2 ou pascal (Pa) em homenagem a **Blaise Pascal**, notável cientista, filósofo e teólogo francês. Pascal contribuiu para o estudo dos fluidos, desenvolvendo os conceitos de pressão e vazio, e aperfeiçoando as pesquisas de Torricelli.

Pressão atmosférica

A atmosfera terrestre, que se estende por centenas de quilômetros, é composta por gases, embora a maior parte esteja concentrada nas primeiras dezenas de quilômetros. Como a atmosfera é composta de ar e este possui massa (mesmo que não sintamos diretamente seu peso), ele é responsável pela pressão existente na superfície terrestre. Essa pressão é denominada pressão atmosférica.

A pressão atmosférica foi primeiramente demonstrada e medida ao nível do mar por Evangelista Torricelli em 1644.

Sabemos hoje que essa pressão será menor quanto maior for a **altitude** em que nos encontramos, confira a imagem a seguir.



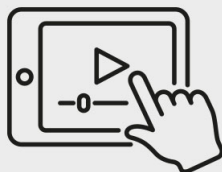
Esquema de pressão atmosférica.



Como conseguimos perceber a pressão atmosférica?

Confira no vídeo a atuação da pressão atmosférica e como ela afeta nosso dia a dia.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Vamos compreender agora a diferença entre altitude e altura.

Altitude

É a distância vertical medida entre o objeto ou ponto de interesse e o nível do mar.



Altura

É a distância vertical medida entre o objeto ou ponto de interesse e um ponto de referência, ou seja, é uma medida relativa.

Por exemplo, a altura de uma montanha é medida a partir da sua base até seu topo. Já a altitude do topo pode ser maior ou menor, dependendo da região onde se encontra a montanha.

Suponha duas montanhas idênticas: uma no Rio de Janeiro (RJ) e outra em Campos do Jordão (SP) – cidade mais alta do Brasil (Palladino, 2018). Compare!



Rio de Janeiro (RJ)

Altitude: cerca de 2 metros.

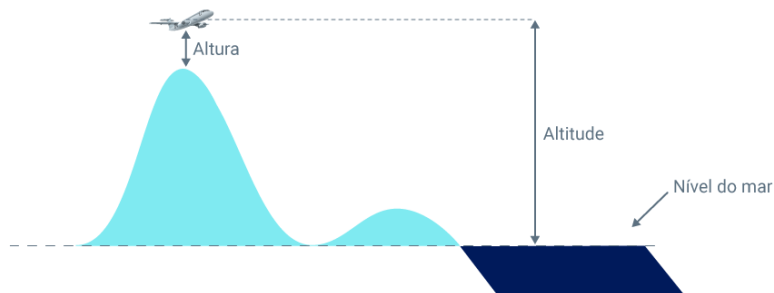


Campos do Jordão (SP)

Altitude: cerca de 1.620 metros.

Essas montanhas teriam a mesma altura (distância entre o pico e a base), porém, em Campos do Jordão, a altitude do pico seria maior, conforme os dados apresentados.

Agora, vamos analisar um avião que se mantém constante em relação ao nível do mar. Nesse caso, podemos dizer que sua altura sofre variação em relação à montanha, porém sua altitude permanece igual, confira na imagem a seguir.



Exemplo de avião que se mantém constante em relação ao nível do mar.

Peso do ar

O ar na superfície terrestre, composto basicamente por nitrogênio, oxigênio e argônio, possui densidade de aproximadamente $1,225 \text{ kg/m}^3$.

Isso quer dizer que $1,0 \text{ m}^3$ de ar, ou seja, um cubo de aresta de 1,0 metro, contendo ar, possui uma massa igual a 1,225 kg.



Considerando o volume de atmosfera terrestre, há muito ar

sobre nossas cabeças. Mas por que não sentimos esse peso?

Resposta

Não sentimos esse peso porque a pressão interna dos nossos corpos está em equilíbrio com a pressão externa exercida pelo ar. Isso é semelhante ao caso de animais marítimos, que não sentem o peso da água acima deles.

Para entender melhor sobre o peso da atmosfera, confira os exemplos a seguir.



Exemplo 1

Se você encher um copo leve de água e levantá-lo, perceberá o peso da água no copo.

Se esse mesmo copo for submerso em um balde com água, você não sentirá mais o peso da água no copo.



Exemplo 2

Para identificar o peso do ar de forma simples, encha um grande balão de gás. Você perceberá que o peso final do balão será significativo.

Saiba mais

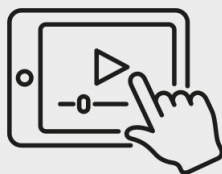
Para saber mais sobre o assunto, leia o texto [Demonstração da pressão atmosférica por Torricelli e unidades de pressão](#).



Empuxo

Confira no vídeo um experimento simulado utilizando um dinamômetro que facilitará a compreensão sobre empuxo.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Pequenos vídeos, grandes explicações!

Massa específica X Densidade

Entenda a diferença entre massa específica e densidade.
Vamos lá!

Pressão

Prepare-se para aprender sobre pressão e os métodos para medir essa grandeza física.

Falta pouco para atingir seus objetivos.

Vamos praticar alguns conceitos?

Questão 1

Cubos de gelo, de massas iguais a 112,5 gramas cada, são colocados em um copo com água líquida. Sabendo que a densidade do gelo é de $0,90 \text{ g/cm}^3$ e a da água é de $1,00 \text{ g/cm}^3$, podemos dizer inicialmente que:

- A Os cubos flutuam e suas arestas são de 5,0 cm.
- B Os cubos flutuam e suas arestas são de 50 cm.
- C Os cubos afundam e suas arestas são de 5,0 cm.
- D Os cubos afundam e suas arestas são de 9,0 cm.

Parabéns! A alternativa A está correta.

Partindo da definição de densidade, temos que para cada cubo de gelo:

$$d = \frac{m}{V} \rightarrow 0,90 = \frac{112,5}{V} \rightarrow V = \frac{112,5}{0,9} = 125 \text{ cm}^3$$

Logo, como são cubos, suas arestas valem 5,0 cm.

Já que a densidade do gelo é inferior à da água, os cubos de gelo flutuarão.

Questão 2

Uma solução salina **A** possui massa específica igual a 1,5 g/cm³. Uma segunda solução salina **B** possui massa específica igual a 1,8 g/cm³. Se quisermos criar 20 cm³ de uma solução salina com massa específica igual a 1,6 g/cm³, a fração em volume de cada solução deverá ser de:

- A 1/3 de solução A + 2/3 de solução B.
- B 2/3 de solução A + 1/3 de solução B.
- C 4/5 de solução A + 1/5 de solução B.
- D 3/4 de solução A + 1/4 de solução B.

Parabéns! A alternativa B está correta.

A solução final precisa ter 20 cm³ de volume. Logo, a soma dos volumes das soluções iniciais, necessariamente, é igual a 20 cm³:
 $V_A + V_B = 20 \text{ cm}^3$.

A massa específica da solução final precisa ser igual a 1,6 g/cm³. Logo:

$$\mu_{\text{final}} = \frac{m_{\text{total}}}{V_{\text{total}}} \rightarrow m_{\text{total}} = m_A + m_B = 1,6 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 20 \text{ cm}^3 \therefore m_A -$$

Substituindo $m_A = \mu_A V_A$ e $m_B = \mu_B V_B$, temos:

$$1,5V_A + 1,8V_B = 32$$

Assim, montamos um sistema:

$$\begin{cases} V_A + V_B = 20 \\ 1,5V_A + 1,8V_B = 32 \end{cases} \Rightarrow V_A = \frac{40}{3} \text{ cm}^3 \text{ e } V_B = \frac{20}{3} \text{ cm}^3$$

Questão 3

A fim de verificar seu peso, João sobe em sua balança de banheiro, com os dois pés juntos, e anota o valor indicado. Para revisar o valor encontrado, ele decide se pesar de novo, porém, agora, sentado na balança com as pernas cruzadas, conforme mostra a figura a seguir:



Em relação à segunda medida, podemos afirmar que:

- A O valor indicado na balança será maior, pois a pressão na balança é maior.
- B O valor indicado na balança será menor, pois a área de contato é maior.

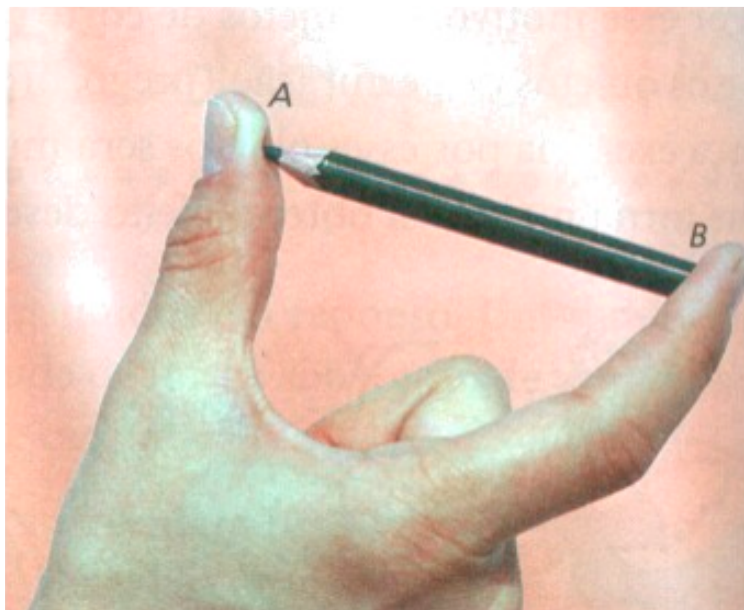
- C O valor indicado na balança será o mesmo, pois a pressão na balança é a mesma.
- D O valor indicado na balança será o mesmo, porém a pressão na balança será menor.

Parabéns! A alternativa D está correta.

A balança indica a massa de João. Como a massa de João não muda, nem há forças diferentes atuando na segunda pesagem, a indicação na balança será a mesma. No entanto, como a área de contato do corpo com a balança aumenta, e a pressão é dada pelo quociente da força pela área, a pressão exercida na balança será menor.

Questão 4

(UFSC - 2008) Uma pessoa comprime um lápis entre seus dedos, da maneira indicada na figura:



Adotando como **A** a área de superfície de contato entre a ponta do lápis e o dedo polegar, e como **B** a área de contato entre o lápis e o dedo indicador, e admitindo que **A** seja menor que **B**, considere as seguintes proposições:

1. A intensidade da força do polegar sobre **A** é maior que a do indicador sobre **B**.
2. A pressão exercida pela força do polegar sobre **A** é maior que a do indicador sobre **B**.

4. A pressão exercida pela força do polegar sobre **A** é igual à do indicador sobre **B**.

8. Pressão é sinônimo de força.

16. A pressão exercida por uma força sobre uma superfície só depende da intensidade da força.

32. A intensidade da força do polegar sobre **A** é igual à do indicador sobre **B**.

A soma das proposições **corretas** é dada por:

A 3

B 5

C 19

D 34

Parabéns! A alternativa D está correta.

Vamos analisar as proposições:

1. Errada

As forças em A e B são iguais. Caso não fossem, haveria uma força resultante no lápis, e, assim, este estaria acelerado.

2. Correta

Como as forças em A e B são iguais, porém as áreas de contato são diferentes, as pressões exercidas são diferentes. Como, quanto menor a área, maior a pressão. Devido a isso, sentimos maior incômodo no ponto A do que no ponto B.

4. Errada

Conforme indicado na proposição 2, as pressões são diferentes.

8. Errada

Pressão é a razão entre força e área de contato.

16. Errada

A pressão exercida por uma força sobre uma superfície depende, também, da área da superfície.

32. Correta

Conforme indicado nas proposições 1 e 2.

Logo, a soma das proposições corretas é: $2 + 32 = 34$.

Questão 5

Uma esfera oca, de raio externo igual a 3 cm, possui uma massa igual a 270 g. Sabe-se que a espessura do material que compõe a esfera é de 1 cm. Despreze a massa de ar existente na parte oca da esfera.

Dessa forma, partindo do pressuposto de que o volume de uma esfera qualquer é dado por $\frac{4}{3}\pi R^3$, onde R é o raio da esfera, e que $\pi \cong 3$, podemos dizer que a massa específica do material que constitui a esfera e a densidade dessa esfera são, respectivamente, iguais a:

A $2,5 \text{ g/cm}^3$ e $3,5 \text{ g/cm}^3$

B $2,5 \text{ g/cm}^3$ e $2,5 \text{ g/cm}^3$

C $3,5 \text{ g/cm}^3$ e $2,5 \text{ g/cm}^3$

D $3,5 \text{ g/cm}^3$ e $2,6 \text{ g/cm}^3$

Parabéns! A alternativa C está correta.

A massa específica é dada pela massa de material dividida pelo volume de material. Assim, desprezando a massa interna de ar, temos:

$$\mu = \frac{m}{V_{\text{esfera}} - V_{\text{oca}}} \rightarrow \mu = \frac{270g}{\frac{4}{3}\pi(3)^3\text{cm}^3 - \frac{4}{3}\pi(3-1)^3\text{cm}^3}$$

$$\mu = \frac{270g}{\frac{4}{3} \cdot 3 \cdot 27\text{cm}^3 - \frac{4}{3} \cdot 3 \cdot 8\text{cm}^3} \rightarrow \mu = \frac{270g}{4 \cdot 19} \therefore \mu = 3,55g/\text{cm}^3$$

Já a densidade da esfera é dada pela massa **do corpo** dividido pelo volume **do corpo**. Assim, temos:

$$d = \frac{m}{V} \rightarrow d = \frac{270g}{\frac{4}{3}\pi(3)^3cm^3}$$

$$d = \frac{270g}{\frac{4}{3}\cdot 3\cdot 27cm^3} \therefore d = 2,5g/cm^3$$

Questão 6

(FUVEST - 2005) A janela retangular de um avião, cuja cabine é pressurizada, mede 0,5 m por 0,25 m. Quando o avião está voando a certa altitude, a pressão em seu interior é de, aproximadamente, 1,0 atm, enquanto a pressão ambiente fora do avião é de 0,60 atm.

Dados:

- $g = 10 \text{ m/s}^2$;
- $1 \text{ atm} = 10^5$;
- $\text{Pa} = 10^5 \text{ N/m}^2$;

Nessas condições, a janela está sujeita a uma força, dirigida de dentro para fora, igual ao peso, na superfície da Terra, da massa de:

- A 50 kg
- B 320 kg
- C 500 kg
- D 750 kg

Parabéns! A alternativa C está correta.

Força na parte interna da janela:

$$p_{\text{int}} = \frac{F_{\text{int}}}{A} \rightarrow 1,0 \times 10^5 = \frac{F_{\text{int}}}{0,5 \times 0,25} \therefore F_{\text{int}} = \frac{1}{8} \times 10^5 N$$

Força na parte externa da janela:

$$p_{\text{ext}} = \frac{F_{\text{ext}}}{A} \rightarrow 0,6 \times 10^5 = \frac{F_{\text{ext}}}{0,5 \times 0,25} \therefore F_{\text{ext}} = \frac{0,6}{8} \times 10^5 N$$

Como a força interna é maior que a externa, há na janela uma força resultante, dirigida de dentro para fora, dada por:

$$F_R = F_{int} - F_{ext}$$

$$F_R = \frac{1}{8} \times 10^5 - \frac{0,6}{8} \times 10^5 = \frac{0,4}{8} \times 10^5 \therefore F_R = 5000N$$

Como é pedido no enunciado que a massa na superfície terrestre possua um peso equivalente a essa força, temos:

$$P = F_R = mg$$

$$5000 = m \cdot 10 \therefore m = 500kg$$



2 - Princípios da hidrostática

Ao final deste módulo, você será capaz de identificar os princípios da hidrostática.

Introdução à hidrostática

Hidrostática é o ramo da física dos fluidos que investiga o comportamento de fluidos em equilíbrio ou situações estáticas, comumente concentrando-se na análise de líquidos. Esse campo se baseia em três princípios fundamentais da hidrostática, veja!

Princípio de Arquimedes

Princípio de Stevin

Princípio de Pascal

Para tornar a compreensão desses princípios mais acessível, começaremos falando do princípio de Stevin.

Princípio de Stevin

Se alguma vez você já mergulhou em um lago, rio, no mar ou na piscina, provavelmente notou que a pressão aumenta à medida que você mergulha mais fundo. Essa pressão é mais perceptível nos ouvidos. É um conhecimento empírico com o qual todos nós estamos familiarizados.



Você sabe por que sentimos
pressão no ouvido e no corpo
quando mergulhamos?

Resposta

Isso acontece porque a pressão da água que está acima do nosso corpo excede a pressão média dos nossos ouvidos, a qual estamos habituados. A partir da definição de pressão, podemos chegar a uma relação quantitativa entre pressão e profundidade.

Sabemos que pressão é dada pela razão entre **força** e **área**. Com base nisso, vamos analisar a seguinte situação:

Você está em uma piscina de profundidade igual a H e se encontra no fundo dessa piscina. Qual é a pressão sentida, ou seja, qual é a diferença de pressão para uma pessoa que esteja na borda da piscina? Vamos descobrir!

Solução

A força em questão é dada pelo peso da água acima do corpo, e a área é a seção reta perpendicular à atuação da força. Assim, a pressão é dada por:

$$p = \frac{mg}{A} = \frac{\mu V g}{A}$$

Em que:

μ = massa específica da água;

V = volume acima do corpo.

No entanto, sabendo que o volume V é dado pelo produto entre a área da base (seção reta perpendicular à força) e a altura do líquido, temos que:

$$p = \frac{\mu(AH)g}{A} \Rightarrow p = \mu g H$$

Assim, a pressão devida à coluna de água é dada por $\mu g H$.

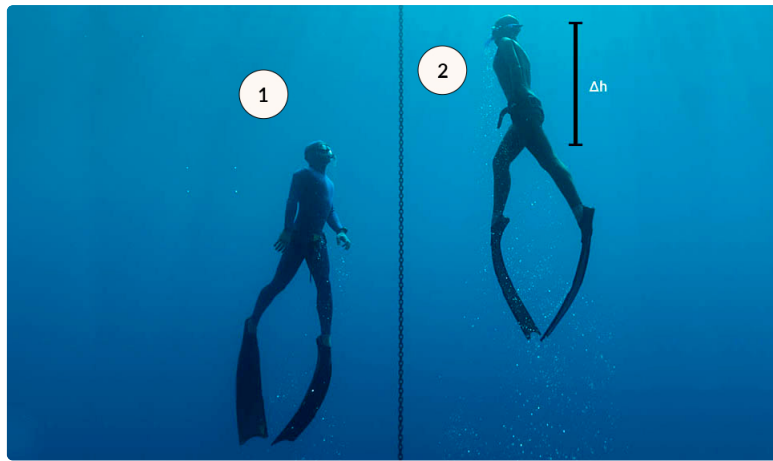


A pressão no fundo da piscina é dada pela soma entre a pressão devida à coluna de água mais a pressão atmosférica do local onde se encontra a piscina.

O cientista Simon Stevin, físico e matemático belga que estudou os campos da estática e da hidrostática, demonstrou, experimentalmente, que a pressão exercida em um ponto de um fluido é diretamente proporcional à sua profundidade.

Em outras palavras, o princípio de Stevin diz que: a diferença de pressão entre dois pontos em um mesmo fluido (Δp), de massa específica μ , é função da diferença de altura entre eles (Δh), e dada por $\Delta p = \mu g \Delta h$, sendo g a aceleração da gravidade no local.

Confira a imagem para compreender melhor o conceito!



Mergulhadores em profundidades diferentes.

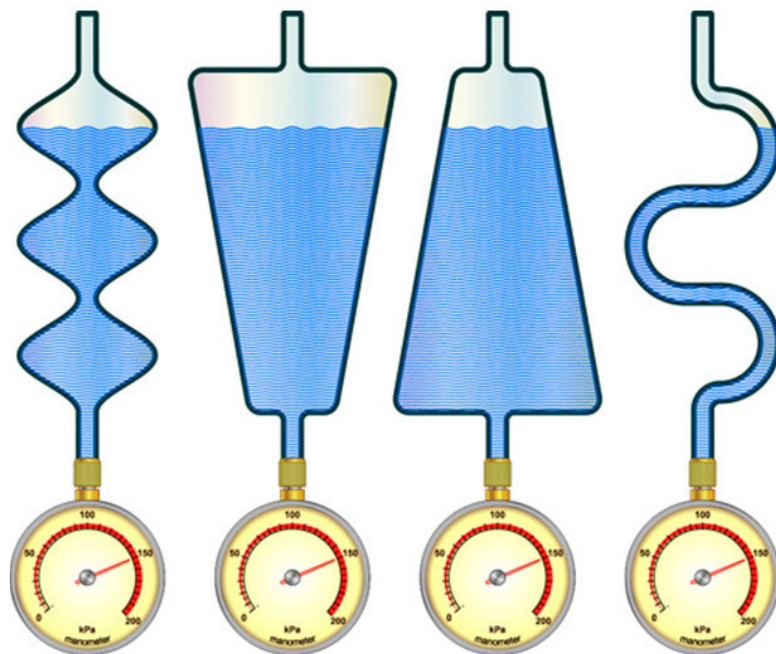
Assim, o princípio de Stevin pode ser caracterizado da seguinte forma:

$$p_1 - p_2 = \mu \cdot g \cdot \Delta h$$

- Δp = diferença de pressão em pascal (Pa) ou atmosfera (atm)
- p_2 = pressão no ponto final em pascal (Pa) ou atmosfera (atm)
- p_1 = pressão no ponto inicial em pascal (Pa) ou atmosfera (atm)
- μ = massa específica em $\frac{kg}{m^3}$
- g = aceleração gravitacional ($\cong 10m/s^2$)
- Δh = variação de profundidade ou variação de altura em metros (m)

Em uma mesma linha horizontal, dois pontos possuirão a mesma pressão. A diferença de pressão é unicamente devida à diferença de altura entre pontos em um mesmo fluido.

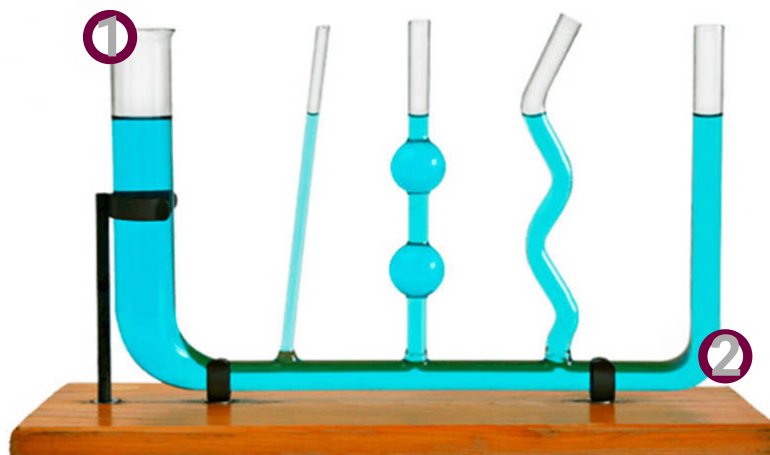
Esse princípio indica uma propriedade bem interessante dos fluidos. A pressão em um ponto depende única e exclusivamente da altura, e não do formato do recipiente que contém o fluido. Observe na imagem que todos os fluidos exercem a mesma pressão em seus respectivos fundos de recipientes.



Medidores de pressão com formatos diferentes utilizando líquidos.

Outro exemplo que confirma essa análise é quando temos recipientes conectados entre si. Veja!

👉 Toque nos pontos em destaque.



Esquema de 2 recipientes conectados entre si.

Independente do formato do recipiente, o líquido contido em cada um dos recipientes está no mesmo nível.

A água exerce a mesma pressão no fundo.

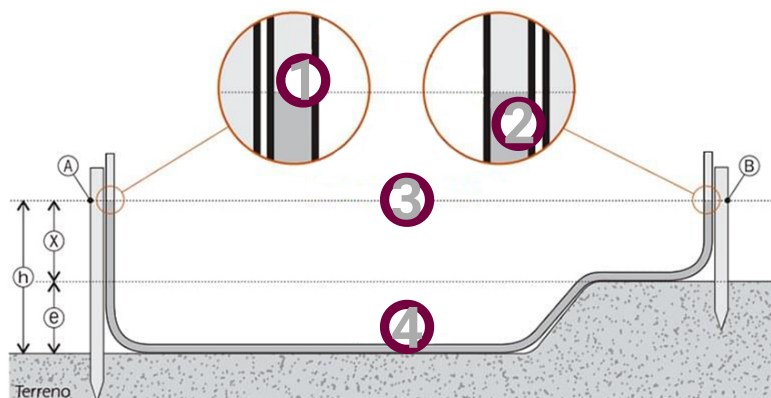
Vamos examinar agora alguns exemplos de equipamentos ou objetos que operam com base no princípio de Stevin.

Mangueira de nível

É uma maneira simples de analisar se algo está nivelado, sendo muito usada em obras. Tal procedimento consiste em colocar água em uma mangueira até que haja o suficiente para atingir os dois pontos de interesse.

Se os pontos A e B estiverem na mesma altura, o nível de água também estará. Considere o seguinte: **h** - Altura definida; **x** - Altura nivelada; **e** - Diferença das alturas; **A** - Ponto de partida; **B** - Ponto nivelado. Veja!

 Toque nos pontos em destaque.



Exemplo de mangueira com água e nível da água em A e B.

Nível da água

Água

Linha de nivelamento

Mangueira

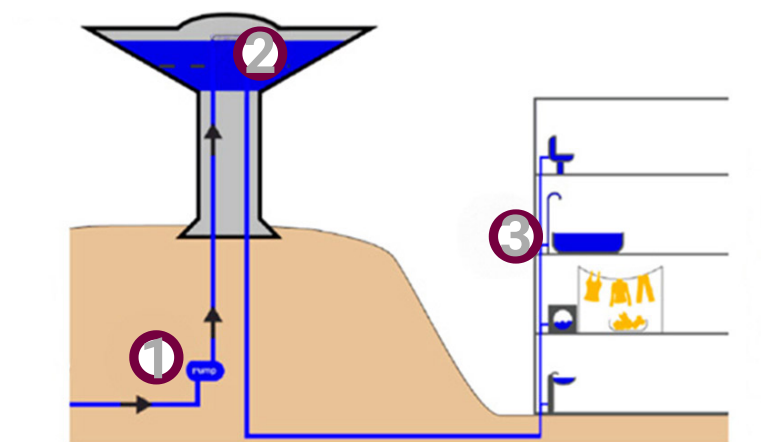
- h - Altura definida
- x - Altura nivelada
- e - Diferença das alturas
- A - Ponto de partida
- B - Ponto nivelado

Note que isso funciona independentemente das imperfeições e variações no terreno.

Reservatórios de água

São utilizados para reter água tratada proveniente da rede de fornecimento.

 Toque nos pontos em destaque.



Exemplo de mangueira com água e nível da água em A e B.

Local onde a água é retida.

A água proveniente da rede de fornecimento é bombeada (por meio de uma bomba elétrica) para o alto da torre.

Quando determinado ponto precisa de água, é aberto um registro que faz com que ela escoe, buscando o mesmo nível em que se encontra, a fim de equalizar a pressão - o que não acontecerá, pois os outros pontos estão abaixo do reservatório.

Os pontos abaixo da torre conseguirão receber água. É por isso que reservatórios de água são bem altos.



Princípio de Stevin

Compreenda no vídeo a diferença de pressão conforme a profundidade na água através do princípio de Stevin. Entenda o significado desse princípio e sua aplicação prática.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



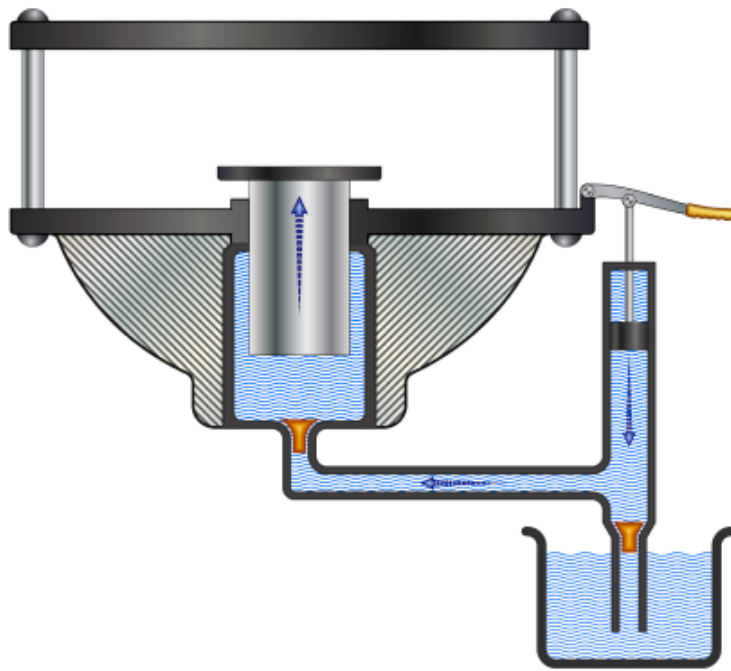
Princípio de Pascal

Em 1646, o cientista francês Blaise Pascal utilizou o barômetro construído por Torricelli poucos anos antes para confirmar sua teoria, que afirmava que o peso do ar variava conforme a altitude.

Como Pascal possuía uma saúde fraca, pediu que seu cunhado escalasse uma montanha e medisse, com o barômetro, o efeito causado na coluna de mercúrio. Após isso, repetiu o experimento em um ponto abaixo da montanha.

O nível de mercúrio era menor na primeira situação, indicando que a pressão acima da montanha era menor. Consequentemente, o peso do ar naquele ponto também era **menor**.

A partir dessa comprovação, Pascal pôde continuar seus estudos no campo dos fluidos e foi o idealizador da prensa hidráulica e da seringa.



Sistema de funcionamento de uma prensa hidráulica.

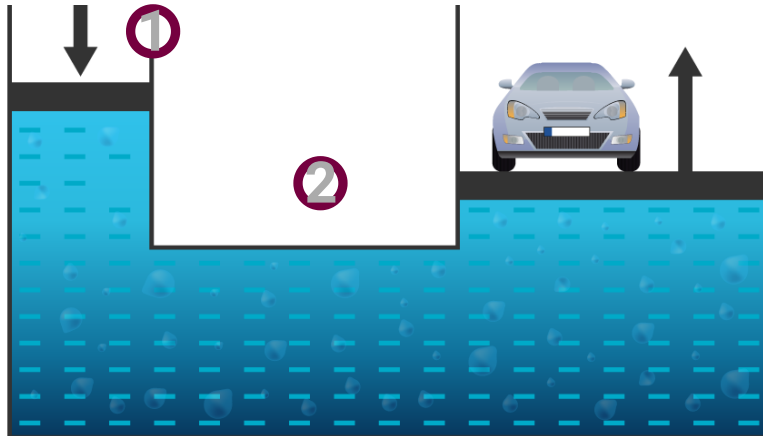
A base do funcionamento desses dois equipamentos é dada pelo princípio de Pascal, que nos diz que “uma variação de pressão ocorrida em um ponto qualquer de um fluido em repouso e em recipiente fechado é transmitida completamente para todos os outros pontos desse mesmo fluido.”

Em termos simples, se você aplicar pressão através de um êmbolo em um líquido, o princípio de Pascal garante que essa variação de pressão se propague por todo o líquido.

Provavelmente, você já se deparou com esse princípio na prática. Um exemplo é o funcionamento de uma prensa hidráulica, que é uma aplicação importante do princípio de Pascal no campo da engenharia. Ela serve, principalmente, para elevar altas cargas, utilizando uma força relativamente pequena. Seu funcionamento é bem simples de entender. Vamos lá!



Toque nos pontos em destaque.



Sistema de funcionamento da prensa hidráulica ao suspender um automóvel.

A pressão no fluido do cilindro menor, usualmente é suprida por um compressor de ar.

A força de entrada no lado esquerdo, no cilindro mais estreito gera uma pressão no fluido, que por sua vez propaga-se de forma igual até o outro lado.

Ainda sobre a imagem apresentada para explicar o funcionamento da prensa hidráulica, a diferença de pressão do lado esquerdo e direito é dada da seguinte forma. Acompanhe!

Do lado esquerdo

$$\Delta p_{\text{esquerda}} = \frac{F_{\text{esq}}}{A_{\text{esq}}}$$

Do lado direito

$$\Delta p_{\text{direita}} = \frac{F_{\text{dir}}}{A_{\text{dir}}}$$

Assim, como a variação de pressão percorre todo o fluido, podemos dizer que a força exercida na superfície da direita é dada por:

$$\Delta p_{\text{esquerda}} = \Delta p_{\text{direita}}$$

$$F_{\text{dir}} = \frac{F_{\text{esq}}}{A_{\text{esq}}} A_{\text{dir}}$$

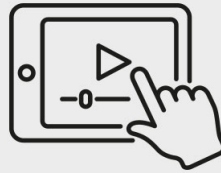
Quanto maior a razão entre as áreas da superfície da direita e da esquerda, para uma força constante do lado esquerdo, maior será a força exercida pelo fluido na superfície da direita. Dessa forma, é possível levantar grandes cargas com forças não muito grandes.



O princípio de Pascal

Você encontrará neste vídeo um exemplo que irá reforçar o conceito do princípio de Pascal. Além disso, abordaremos o que é descrito por esse princípio e onde ele pode ser aplicado. Assista!

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Princípio de Arquimedes

Antes de estudarmos o princípio de Arquimedes, vamos ouvir a história contada em seu livro *Sobre os corpos flutuantes* (1912), que estabeleceu um dos princípios fundamentais da hidrostática.

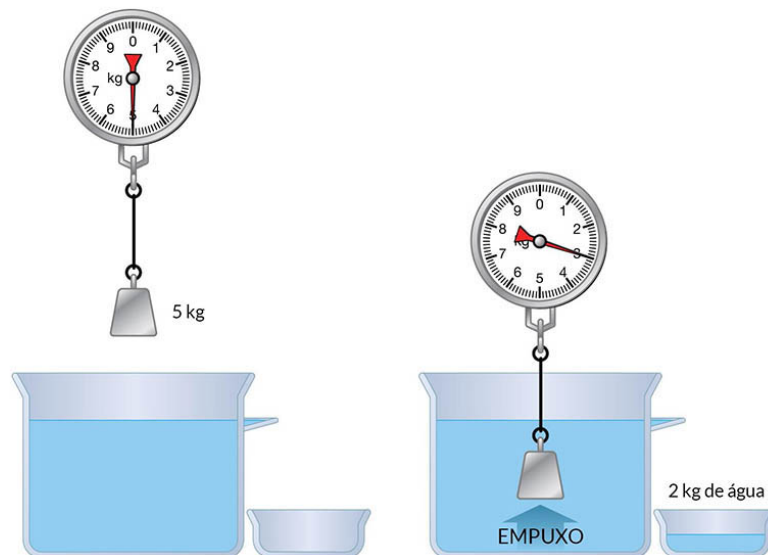
Para ouvir o *áudio*, acesse a versão online deste conteúdo.



O princípio de Arquimedes nos diz que: "Quando um corpo está total ou parcialmente submerso em um fluido, existe uma força para cima, cujo módulo é igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo."

Vamos entender melhor esse princípio. Note na imagem que o corpo sólido possui 5,0 kg. Após entrar no líquido, o "peso aparente" do sólido diminui, como mostrado na balança. No entanto, como não pode haver

criação nem perda de massa nesse sistema, a massa final, necessariamente, é igual à inicial.



Exemplo de balança para cálculo do empuxo.

A massa de água que sai do recipiente é igual à diferença entre a massa inicial e a massa medida na balança após a submersão. Em outras palavras, a massa aparente do sólido é de 3,0 kg, e a de água deslocada, e transbordada, é de 2,0 kg.

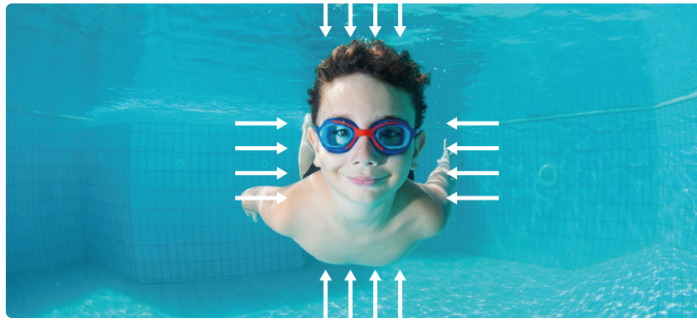
Comentário

Você já deve ter percebido que o peso aparenta diminuir quando estamos dentro d'água, graças à sua experiência prática! Levantar objetos dentro d'água é muito mais fácil do que fora dela. Isso se deve à força para cima presente no fluido, como mencionado por Arquimedes. Essa força, a que Arquimedes se refere, é conhecida como empuxo e ocorre em todos os tipos de fluidos.

Empuxo

É uma força na direção vertical e sentido de baixo para cima que atua em corpos que estão parcial ou completamente submersos, conforme o princípio de Arquimedes. Mas por que isso ocorre?

Vamos buscar uma conclusão e quantificar essa força! Para facilitar a análise, consideraremos uma pessoa dentro de uma piscina, embora o princípio de Stevin se aplique a qualquer corpo. Tenha em mente que o princípio de Stevin afirma que a pressão em um fluido varia com a profundidade. Confira as imagens para ilustrar!



Menino em piscina com pressão atuante em todas as direções.

Direções da pressão

Em um ponto dentro de um fluido, a determinada profundidade, a pressão é igual em todas as direções. Se isso não ocorresse, o fluido não estaria em repouso. Todas as componentes de força na horizontal, causadas pela pressão serão canceladas entre si.



Menino em piscina sofrendo força resultante para cima.

Força resultante

Com todas as componentes de força na horizontal canceladas entre si, só sobrarão as componentes verticais, resultando em uma força para cima.

Logo, podemos concluir o seguinte. Veja!

Na parte superior da pessoa

Força superior = Pressão na parte superior X Área superior.

Na parte inferior da pessoa

Força inferior = Pressão na parte inferior X Área inferior.

Como as áreas são iguais, mas as forças, diferentes (note que a força inferior é maior que a superior), teremos uma força resultante dada pela seguinte expressão:

$$E = F_{\text{inferior}} - F_{\text{superior}}$$

$$E = (p_{\text{inferior}} - p_{\text{superior}}) \cdot A$$

$$E = \mu_{\text{fluido}} g \Delta h \cdot A \therefore E = \mu_{\text{fluido}} g V_i$$

Acompanhe alguns exemplos!

Exemplo 1

Você sabe por que, geralmente, é mais fácil flutuar no mar do que no rio? Vamos descobrir!



Flutuar no mar

A água salgada tende a ser mais densa que a água doce, com a densidade representada pelo valor de μ . Devido a essa maior densidade (μ mais alto), a força de empuxo, que é a força para cima exercida pela água sobre um corpo submerso, também é maior no mar. Portanto, para um mesmo volume imerso, o empuxo no mar será maior do que no rio. Esse maior empuxo facilita a flutuação, tornando mais fácil flutuar no mar.

×

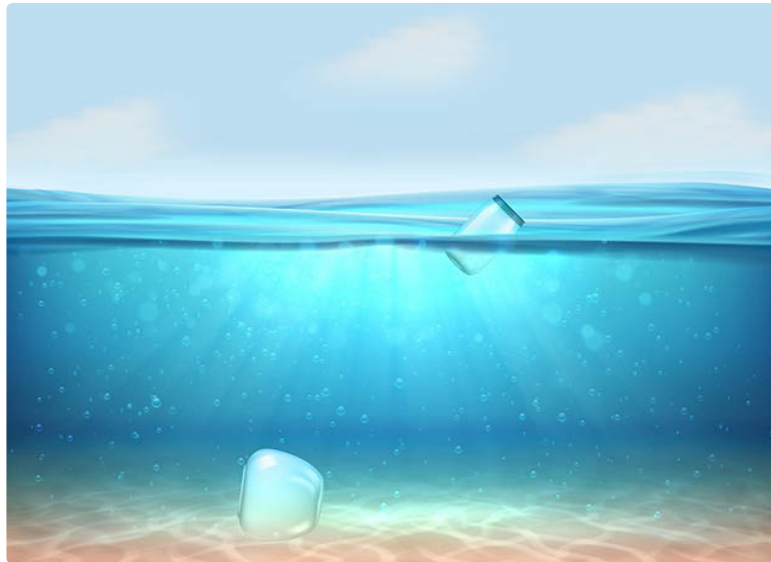


Flutuar no rio

A água doce tem uma densidade (μ) menor comparada à água salgada. Logo, o valor do empuxo é menor na água doce. Isso significa que, para um mesmo volume imerso, a força para cima exercida pela água no rio é menor do que no mar. Com um empuxo menor, a flutuação é menos facilitada no rio, tornando mais difícil flutuar na água doce em comparação com a água salgada.

Na análise que conduzimos para determinar o valor do empuxo, consideramos que o volume imerso é igual ao volume do corpo. No entanto, essa não é sempre a situação. Quando um corpo flutua, apenas uma parte do seu volume está submersa. Esse volume imerso é o que é considerado para o cálculo do empuxo.

O princípio de Arquimedes e, consequentemente, a ação da força de empuxo indica se um corpo irá flutuar ou afundar. Observe a imagem na qual dois corpos feitos do mesmo material e com o mesmo peso possuem volumes diferentes.



Exemplo de objetos na água com o mesmo peso e material, porém volumes diferentes.

Por que um flutua e outro afunda, visto que têm a mesma massa específica?

Se voltarmos aos conceitos básicos, veremos que a densidade depende do corpo e a massa específica, do material.

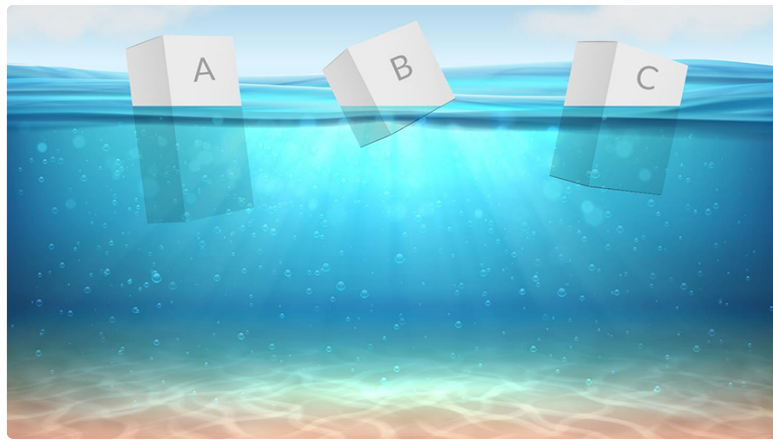
No caso do empuxo, ele é comparado com o peso, e este está relacionado à densidade. Se o peso do volume deslocado de água for suficiente para se igualar ao peso do objeto, este irá flutuar.

É esse princípio que garante a flutuação de navios e barcos, mesmo sendo feitos de ferro (cuja densidade é bem superior à da água).

O importante é o volume de água deslocada! Um objeto flutuante deslocará um volume de fluido equivalente ao seu peso total.

Exemplo 2

Os três sólidos — A, B e C — estão flutuando em água, como ilustrado na imagem a seguir.



Exemplo de três sólidos flutuando em água.

Sabendo que as espessuras desses sólidos são iguais (dimensão para dentro do papel), repare que cada um deles desloca volumes diferentes de água. O que podemos falar sobre o peso de cada um desses corpos? E sobre as densidades? Acompanhe!

Densidade

Como os três corpos flutuam, podemos dizer que todos eles possuem densidades menores que a da água.

Empuxo

É igual ao módulo do peso da água deslocada. Note na imagem (Exemplo de três sólidos flutuando em água) que o volume deslocado pelo corpo A é o maior e, o do corpo B, o menor, isto é, $V_A > V_C > V_B$.

Peso

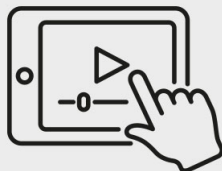
O equilíbrio dos corpos garante que o módulo do empuxo é igual ao módulo do peso, para cada corpo. Como estão mergulhados no mesmo fluido, e estão sob a ação do mesmo campo gravitacional, os pesos são proporcionais aos volumes. Logo, $P_A > P_C > P_B$.



Vasos comunicantes

Entenda neste vídeo o funcionamento dos vasos comunicantes por meio da análise do funcionamento de um vaso sanitário.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Pequenos vídeos, grandes explicações!

Princípio de Stevin

Entenda o princípio de Stevin por meio de um exemplo. Vamos lá!

Princípio de Arquimedes

Entenda o conceito de empuxo descrito no princípio de Arquimedes. Vamos lá!

Falta pouco para atingir seus objetivos.

Vamos praticar alguns conceitos?

Questão 1

Quando usamos um canudo para beber algum líquido, a explicação física para o líquido subir é a seguinte: com a sucção, diminuimos a pressão dentro do canudo, enquanto fora dele (e, assim, na superfície do líquido), a pressão é igual à atmosférica. Assim, devido à diferença de pressão, o líquido sobe.

Suponha, agora, que possamos construir um canudo do tamanho que quisermos e conseguimos sugar o máximo de água possível, criando vácuo dentro dele.

Dados:

Massa específica da água = 1.000 kg/m^3

Pressão atmosférica = $1,0 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

Qual é a maior altura que conseguimos fazer a água subir?

- A 1,0 metro
- B 10,0 metros
- C 20,0 metros

D 100,0 metros

Parabéns! A alternativa B está correta.

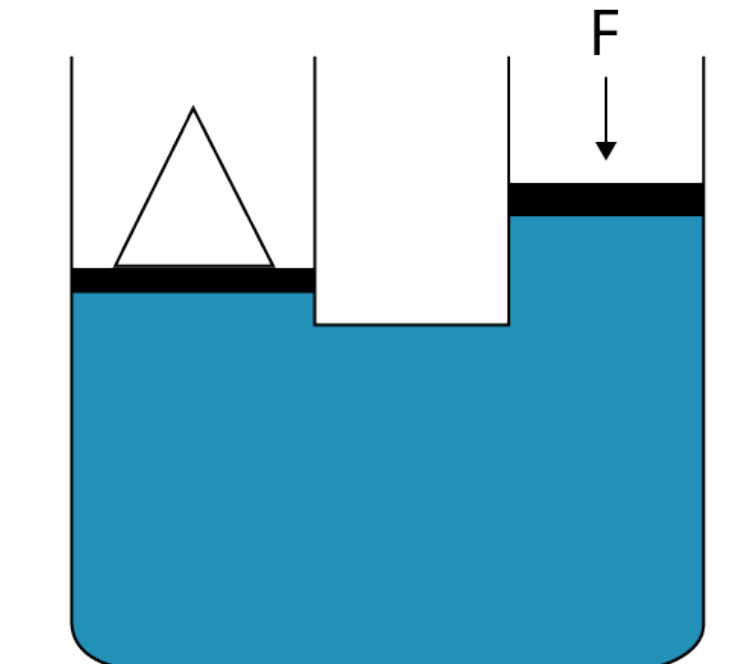
Se criarmos vácuo no canudo, a altura da água dentro dele deverá prover uma pressão igual à atmosférica, como determina o princípio de Stevin. Assim, temos:

$$p_{\text{agua}} = p_{\text{atm}}$$

$$\rho gh = 1,0 \times 10^5 \rightarrow h = \frac{10^5}{10 \cdot 10^3} \therefore h = 10m$$

Questão 2

(UNIRIO - 1996) A figura a seguir mostra uma prensa hidráulica, cujos êmbolos têm seções $S_1 = 15 \text{ cm}^2$ e $S_2 = 30 \text{ cm}^2$:



Sobre o primeiro êmbolo, aplica-se uma força **F** igual a 10 N. Dessa forma, mantém-se em equilíbrio um cone de aço de peso **P**, colocado sobre o segundo êmbolo.

O peso do cone vale:

A 5 N

B 10 N

C 15 N

D 20 N

Parabéns! A alternativa D está correta.

Segundo o princípio de Pascal, podemos afirmar que:

$$\frac{F}{S_1} = \frac{P_{\text{cone}}}{S_2} \rightarrow P_{\text{cone}} = \frac{30}{15} \cdot 10 \therefore P_{\text{cone}} = 20N$$

Questão 3

Sejam três corpos A, B e C, colocados em água, cuja densidade é 1,0 g/cm³. As informações de cada corpo são fornecidas no quadro abaixo:

CORPO	MASSA	DENSIDADE
A	200 g	0,5 g/cm ³
B	250 g	1,2 g/cm ³
C	1.000 g	0,8 g/cm ³

Sabendo que, no local, a aceleração da gravidade é $g = 10 \text{ m/s}^2$, são feitas as seguintes afirmações:

- I. Os corpos A e B flutuarão, enquanto o corpo C afundará.
- II. Os corpos A e C flutuarão. Já o corpo B afundará.
- III. O corpo C terá maior volume imerso que o corpo A, por ser mais pesado.
- IV. O empuxo no corpo B será igual ao seu peso.

Estão **corretas** somente as afirmativas:

A I e II

B I, II e III

C II e III

D II, III e IV

Parabéns! A alternativa C está correta.

I. (Falsa) e II. (Verdadeira)

O que determina se o corpo irá afundar ou não é sua densidade. Se a densidade é maior que a do líquido, o corpo afundará. Se for menor, o corpo flutuará. No caso da questão, as densidades menores que $1,0 \text{ g/cm}^3$ são as dos corpos A e C. Logo, esses flutuarão. Já o corpo B afundará.

III. (Verdadeira)

Como A e C estão flutuando, o empuxo em A será igual ao peso de A, e o empuxo em C será igual ao peso de C. Logo, C terá um volume imerso maior que A.

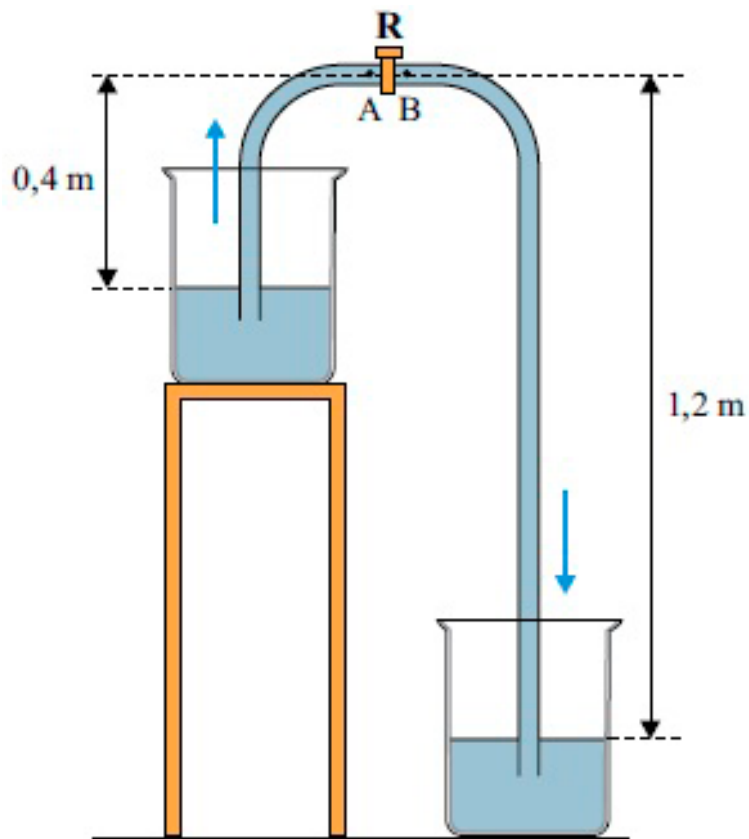
IV. (Falsa)

Como o corpo B afunda, o volume imerso é o próprio volume do corpo B. Logo, o valor do empuxo é menor que o peso. Lembre-se: o empuxo é proporcional ao volume imerso e à densidade do fluido. O peso é proporcional à massa do corpo ou ao volume total e à densidade dele.

Questão 4

(UNESP - 2013) O sifão é um dispositivo que permite transferir um líquido de um recipiente mais alto para outro mais baixo, por meio, por exemplo, de uma mangueira cheia do mesmo líquido.

Na figura a seguir, que representa, esquematicamente, um sifão utilizado para transferir água de um recipiente sobre uma mesa para outro no piso, **R** é um registro que, quando fechado, impede o movimento da água:



Quando o registro é aberto, a diferença de pressão entre os pontos **A** e **B** provoca o escoamento da água para o recipiente de baixo.

Considere que os dois recipientes estejam abertos para a atmosfera, que a densidade da água seja igual a 10^3 kg/m^3 e que $g = 10 \text{ m/s}^2$.

De acordo com as medidas indicadas na figura, com o registro **R** fechado, a diferença de pressão $P_A - P_B$, entre os pontos **A** e **B**, em pascal, é igual a:

A 4.000

B 10.000

C 8.000

D 12.000

Parabéns! A alternativa C está correta.

Dados:

$$- d = 10^3 \text{ kg/m}^3;$$

$$h_A = 0,4 \text{ m};$$

$$h_B = 1,2 \text{ m};$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2.$$

Nas extremidades do sifão, na superfície livre da água, a pressão é igual à atmosférica. Então, nos ramos da esquerda e da direita, temos:

$$\begin{cases} \text{Esquerda: } P_A + dgh_A = P_{at} \\ \text{Direita: } P_B + dgh_B = P_{at} \end{cases} \rightarrow P_A - P_B = dg(h_B - h_A) = 1$$



Questão 5

Um líquido **X** e mercúrio (Hg), imiscíveis entre si, são colocados em um recipiente em formato de **U**, aberto nas duas extremidades.

Dados:

$$\text{Densidade do mercúrio} = 13,6 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Densidade do líquido X} = 3,4 \text{ g/cm}^3$$

Sabendo que a coluna de líquido **X** tem tamanho igual a 10 cm, após o equilíbrio, a altura em que se encontra o mercúrio no lado direito do recipiente (em relação ao ponto mais baixo do líquido X) será de:

A 2,5 cm

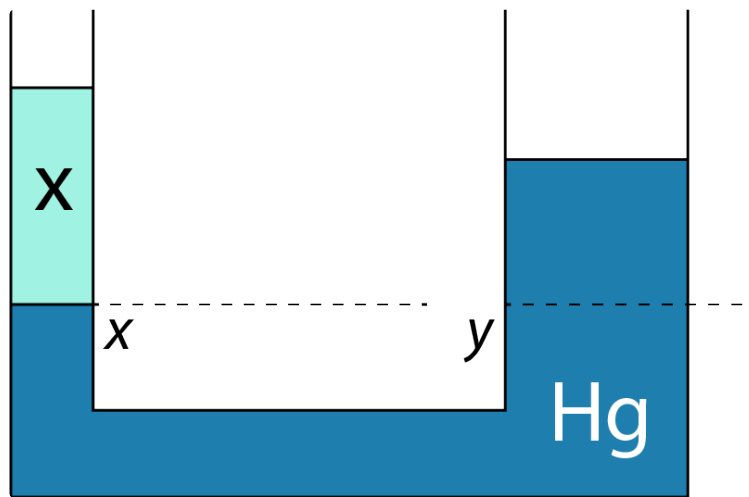
B 4,0 cm

C 5,0 cm

D 7,5 cm

Parabéns! A alternativa A está correta.

Pelo princípio de Stevin, em um mesmo fluido, os pontos que estão na mesma altura possuem a mesma pressão. Assim, na figura a seguir, podemos afirmar que os pontos A e B têm a mesma pressão.



Logo, temos:

$$p_A = p_B$$

$$p_{atm} + \mu_X g h_X = p_{atm} + \mu_{Hg} g h_{Hg}$$

$$\mu_X h_X = \mu_{Hg} h_{Hg} \rightarrow 3,4 \cdot 10 = 13,6 \cdot h_{Hg} \therefore h_{Hg} = 2,5 \text{ cm}$$

Questão 6

I. O princípio de Pascal nos diz que: se uma pressão externa for exercida em qualquer ponto de um fluido, essa pressão será transmitida por todo o fluido.

II. A pressão dentro da água aumenta de, aproximadamente, 1,0 atm para cada 10 metros de profundidade.

III. Se um corpo tem 80% de seu volume submerso em um líquido, sua densidade é 80% menor que a densidade do líquido.

Estão **corretas** somente as afirmativas:

A I e II

B I e III

C II e III

D I, II e III

Parabéns! A alternativa A está correta.

p>Vamos analisar as afirmativas:

I. Correta

Segundo o princípio de Pascal:

“Uma variação de pressão ocorrida em um ponto qualquer de um fluido em repouso e em recipiente fechado é transmitida completamente para todos os outros pontos desse mesmo fluido.”

II. Correta

Considerando a aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2 e a densidade da água igual a 10^3 kg/m^3 , temos:

$$\Delta p = \mu g \Delta h$$
$$\Delta p = 10^3 \cdot 10 \cdot \Delta h = 10^4 \Delta h$$

Vemos que, para cada 10 metros de variação de altura, teremos uma variação de 10^5 N/m^2 , que equivale a aproximadamente 1,0 atm.

III. Errada

Pelo princípio de Arquimedes, como o corpo tem 80% de seu volume submerso, temos:

$$E = \mu_{\text{liquido}} V_{\text{imerso}} g = mg$$
$$\mu_{\text{liquido}} V_{\text{imerso}} = \mu_{\text{corpo}} V_{\text{corpo}} \rightarrow \mu_{\text{corpo}} = \mu_{\text{liquido}} \cdot \frac{0,80 V_{\text{corpo}}}{V_{\text{corpo}}}.$$



Assim, sua densidade é 80% da densidade do líquido, ou seja, 20% menor que a densidade do líquido.



Introdução à hidrodinâmica

Você já se perguntou como um avião é capaz de voar mesmo pesando toneladas? Por que a velocidade de saída da água devido a um furo em um tonel varia dada a posição do furo?

Para explicar tais efeitos, precisamos estudar o movimento dos fluidos. Essa área da física dos fluidos é chamada de hidrodinâmica.

Veremos, a partir de agora, os dois princípios fundamentais que regem o estudo da hidrodinâmica:

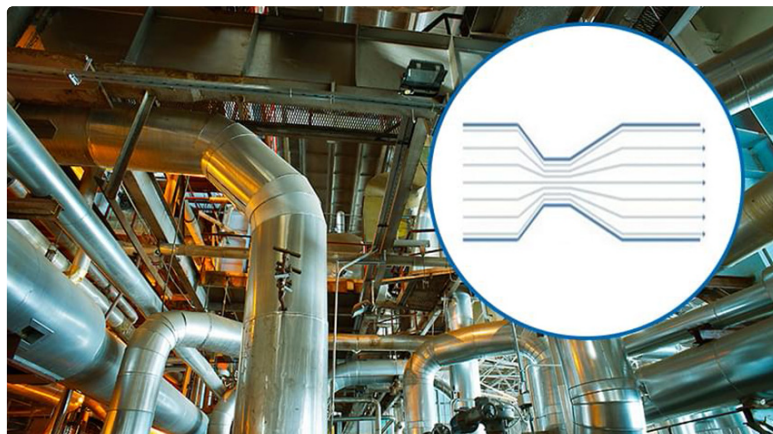
- Princípio da continuidade
- Princípio de Bernoulli.

Antes de prosseguirmos, para facilitar sua compreensão, vamos definir as linhas de corrente, que são bastante úteis na análise visual desses princípios.

Linhas de corrente

São traços que indicam a trajetória das partículas que compõem um fluido. Essas linhas foram criadas para facilitar a visualização do movimento de um fluido.

Essas linhas de corrente indicam o movimento de um fluido em um tubo não uniforme. Note que, na parte mais estreita do tubo, as linhas se aproximam e, na mais larga, elas se afastam. As linhas de corrente **nunca** se cruzam. Confira na imagem!



Tubos de passagem de fluidos com esquema de passagem da corrente em destaque.

Agora que vimos o que são linhas de corrente, vamos estudar os dois princípios fundamentais da hidrodinâmica. Você verá que já os conhece, mas, talvez, não em suas formas teóricas.

Princípio ou equação da continuidade

É muito provável que, quando criança (ou talvez até hoje), você tenha tomado banho de mangueira ou brincado com uma mangueira, seja em algum lugar externo ou até mesmo com alguém.

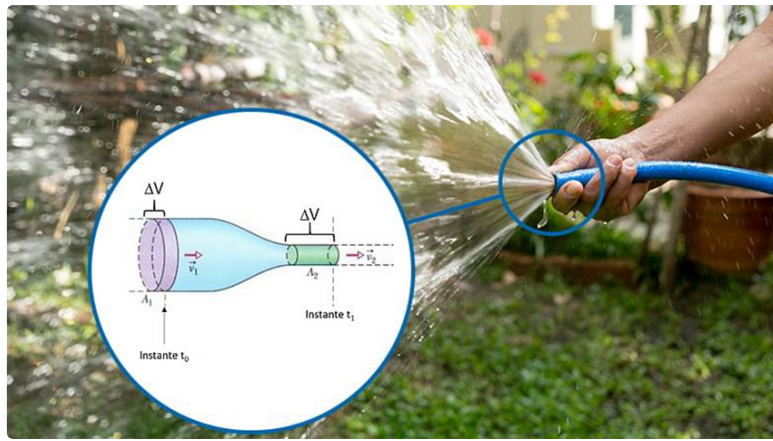


Com a água fluindo pela mangueira, o que acontece quando você fecha um pouco a extremidade de saída da água, usando o dedo polegar?

Resposta

O conceito é simples! Como o próprio nome indica, continuidade significa que, em uma vazão constante, se uma quantidade de fluido (vamos chamar de ΔV o volume que compreende essa quantidade de fluido) leva determinado intervalo de tempo para passar por um pedaço do recipiente, em outro ponto dele, essa mesma quantidade de fluido passará no mesmo intervalo de tempo.

Vamos a uma ilustração para entender melhor o conceito da água fluindo pela mangueira.



Pessoa aumentando a pressão da água em uma mangueira com o esquema do gráfico da vazão em destaque.

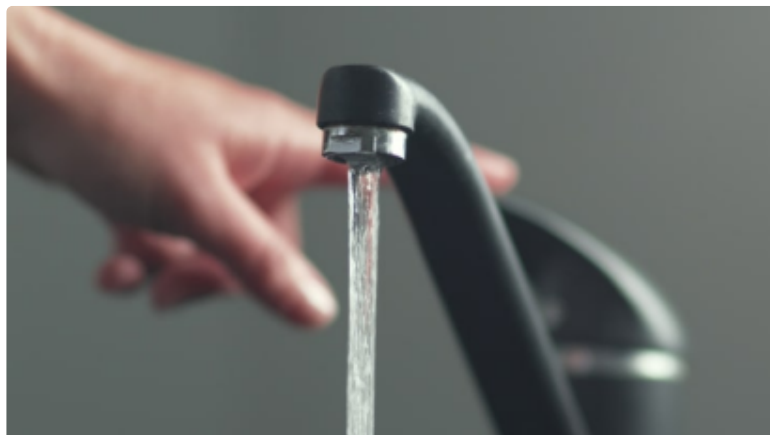
Como a vazão é constante, temos:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \text{constante} \rightarrow A_1 v_1 = A_2 v_2$$

Em outros termos, o produto **Área X Velocidade** se mantém!

Quando fechamos um pedaço da extremidade da mangueira, a área diminui e, conseqüentemente, a velocidade aumenta. Um exemplo bem comum do princípio da continuidade é o efeito da queda d'água.

Você já deve ter observado que ao abrir uma torneira, especialmente quando está a uma altura considerável, percebemos que o jato d'água se estreita à medida que se afasta da torneira. Isso acontece devido à transformação da energia potencial gravitacional em energia cinética. Quanto mais distante do bocal da torneira a água estiver, maior é a sua velocidade de fluxo.



Torneira aberta com fluxo de água contínua.

Como o princípio da continuidade nos garante a constância do produto de área por velocidade, a área de fluido diminui, tornando-se mais estreito quanto mais longe da torneira ele estiver.

Para garantir o entendimento, vamos pensar em outro exemplo. Confira!



Reservatório de água.

Etapa inicial

O princípio da continuidade é verificado no escoamento de líquidos por um cano de um prédio. O cano que sai do reservatório é muito mais largo do que o que chega à sua cozinha.



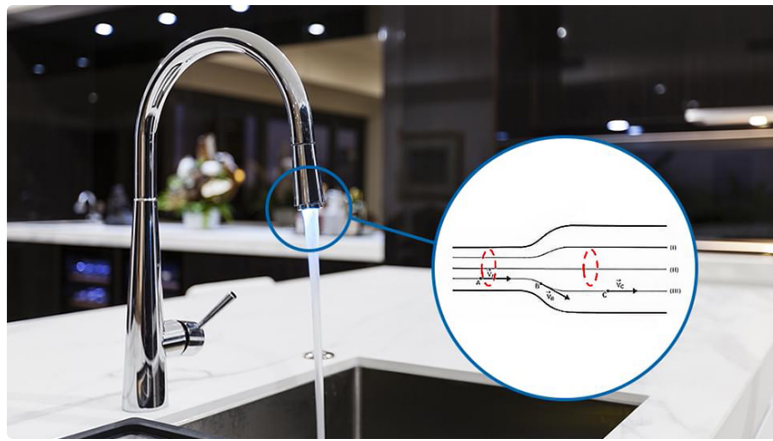
Pessoas utilizando torneira de cozinha.

Etapa final

Além da diferença de pressão causada pela altura, como o cano é mais estreito na sua cozinha, a velocidade com que a água sai é bem superior à velocidade com que sai do reservatório.

No entanto, para dado intervalo de tempo, a quantidade de água que sai do reservatório e que sai na cozinha é a mesma!

Ao observarmos um fluido através de suas linhas de corrente, podemos utilizar essas linhas para comparar os módulos das velocidades em diferentes pontos do fluido.



Torneira de cozinha com esquema do fluxo de água em destaque.

A regra para isso é simples: ao compararmos a mesma área em dois pontos distintos do mesmo fluido, se houver mais linhas de corrente passando por essa área em um dos pontos, isso indica uma velocidade maior naquele ponto.

Princípio de Bernoulli

Pelo princípio da continuidade, um fluxo contínuo de um fluido em um tubo garante a mesma quantidade de fluido atravessando qualquer seção do tubo em determinado intervalo de tempo.

O cientista Daniel Bernoulli, em seus estudos de fluidos em tubos, observou que havia uma relação entre a pressão do fluido e a velocidade dele. O princípio que leva seu nome nos diz que: se a velocidade de um fluido aumenta, percorrendo uma trajetória horizontal, a pressão do fluido diminui, e vice-versa.

Supondo que não haja variação de altitude (e, consequentemente, variação de pressão devido a isso), quanto maior a velocidade de um fluido em um ponto, menor será a pressão nesse ponto; e quanto menor a velocidade de um fluido em um ponto, maior será a pressão nesse ponto.

Princípio de Bernoulli quantificado

A equação geral que define o princípio de Bernoulli envolve as seguintes variações em um fluido. Vamos conferir!

Pressão

Representada pela letra p .

Velocidade

Representada pela letra v .

Altura

Representada pela letra h .

Por meio da conservação de energia, Bernoulli comprovou que a seguinte soma é constante em um fluido de densidade ρ . Observe!

$$\frac{\rho v^2}{2} + p + \rho gh = \text{constante}$$

Em que g é a aceleração da gravidade no local.

Vejamos alguns exemplos de equipamentos ou objetos que fazem uso desse princípio no dia a dia.

Bomba de aerossol

Quando usamos o aerossol em um frasco de desodorante, a pressão no bulbo, devido ao apertão, sopra ar com grande velocidade para baixo. Esse fato reduz a pressão no tubo que está em contato com o perfume, fazendo o líquido subir (para se igualar à pressão atmosférica existente) até a extremidade livre, liberando as gotículas perfumadas. Veja!



Pessoa utilizando aerossol com esquema interno do aerossol em destaque.



Avião

Compreenda no vídeo como um avião se mantém no ar através do princípio de Bernoulli.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Jato d'água

Mangueiras de alta pressão garantem uma velocidade extremamente alta do jato. Isso acontece por que o fluido está em contato com uma pressão elevada dentro da mangueira e, conseqüentemente, possui determinada velocidade. Ao sair, o fluido passa a ficar submetido à pressão atmosférica, que será menor que a pressão interna da mangueira e, assim, terá sua velocidade aumentada.

Mangueiras desse tipo são usadas para limpeza, operações policiais e até mesmo em oficinas para cortar metais.

Se uma pessoa for atingida por esse jato, a velocidade do fluido é alterada abruptamente (de sua velocidade antes de atingir a pessoa para o repouso após atingi-la). Como resultado, é experimentada uma alta pressão. Isso é chamado de pressão de estagnação.



Pessoa sendo atingida por jato d'água de alta pressão durante manifestação.

Atenção!

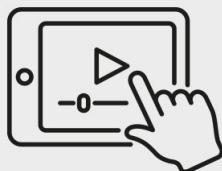
Durante todo este conteúdo, utilizamos a aproximação de um fluido ideal, o qual é incompressível (possui massa específica ou densidade uniforme e constante) e não viscoso (não oferece resistência ao escoamento).



Princípio de Bernoulli

Acompanhe no vídeo um experimento simulado em um ambiente digital e controlado que ajudará a compreender melhor o princípio de Bernoulli.

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Pequenos vídeos, grandes explicações!

Princípio ou equação da continuidade

Compreenda o funcionamento da equação da continuidade e como aplicá-la em situações do dia a dia.

Princípio de Bernoulli

Fique por dentro do princípio de Bernoulli e da sua relação com o princípio da conservação de energia.

Falta pouco para atingir seus objetivos.

Vamos praticar alguns conceitos?

Questão 1

(ITA - 2003) Durante uma tempestade, Maria fecha as janelas de seu apartamento e ouve o zumbido do vento lá fora. Subitamente, o vidro de uma janela se quebra. Considerando que o vento tenha soprado tangencialmente à janela, o acidente pode ser mais bem explicado pelo:

- A Princípio da continuidade.
- B Princípio de Bernoulli.
- C Princípio de Arquimedes.
- D Princípio de Pascal.

Parabéns! A alternativa B está correta.

O fluido, no caso o ar, está com determinada velocidade e, ao encontrar um obstáculo (janela), tem sua velocidade na direção perpendicular à janela anulada. Segundo o princípio de Bernoulli, quanto maior a velocidade, menor a pressão, e vice-versa. Logo, a

pressão aumenta quando a velocidade se anula na direção perpendicular à janela, fazendo com que a mesma se quebre.

Questão 2

Qual dos seguintes fenômenos **não** está relacionado com o princípio de Bernoulli?

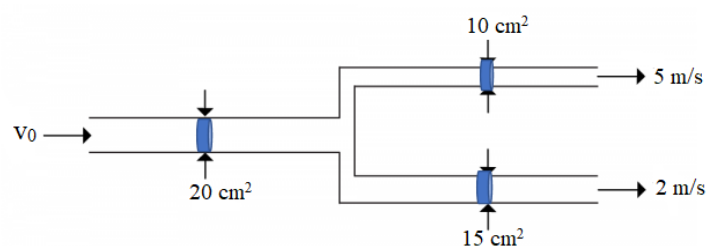
- A Aproximação lateral de moto e caminhão no momento da ultrapassagem.
- B Movimento da cortina em um quarto devido à abertura ou fechamento da porta.
- C Flutuação de um imenso transatlântico no oceano.
- D “Levitação” de uma bola de tênis de mesa devido a um secador de cabelo ligado abaixo dela.

Parabéns! A alternativa C está correta.

A alternativa C está relacionada com o Princípio de Arquimedes. Todas as outras alternativas estão relacionadas com o princípio de Bernoulli.

Questão 3

Um fluido incompressível percorre um cano de seção reta 20 cm^2 . Em determinado momento do percurso, esse fluido é dividido em dois outros canos, com seções retas 10 cm^2 e 15 cm^2 , conforme mostra a figura:



Sabendo que as velocidades de saída do fluido nesses dois últimos canos são, respectivamente, iguais a 5 m/s e 2 m/s, podemos dizer que a velocidade de entrada do fluido no cano inicial é de:

- A 3,0 m/s
- B 4,0 m/s
- C 5,0 m/s
- D 6,0 m/s

Parabéns! A alternativa B está correta.

Como não há acréscimo nem decréscimo de fluido no trajeto percorrido, pela equação da continuidade, podemos dizer que:

Vazão de entrada = Vazão de saída

Dessa forma, temos:

$$\begin{aligned}A_0 v_0 &= A_1 v_1 + A_2 v_2 \\20\text{cm}^2 \cdot v_0 &= 10\text{cm}^2 \cdot 5\text{m/s} + 15\text{cm}^2 \cdot 2\text{m/s} \\20v_0 &= 50 + 30 \therefore v_0 = 4,0\text{m/s}\end{aligned}$$

Note que nem sempre quando a área aumenta, a velocidade diminui, e vice-versa. Isso só será válido se houver somente duas tubulações colocadas em série.

Questão 4

Quando o gás dentro de um cano, fluindo uniformemente, passa a escoar em um cano mais estreito, é **correto** afirmar que

- A Sua pressão diminui e sua velocidade aumenta.
- B Sua pressão aumenta e sua velocidade diminui.
- C

Tanto sua pressão quanto sua velocidade
diminuem

D

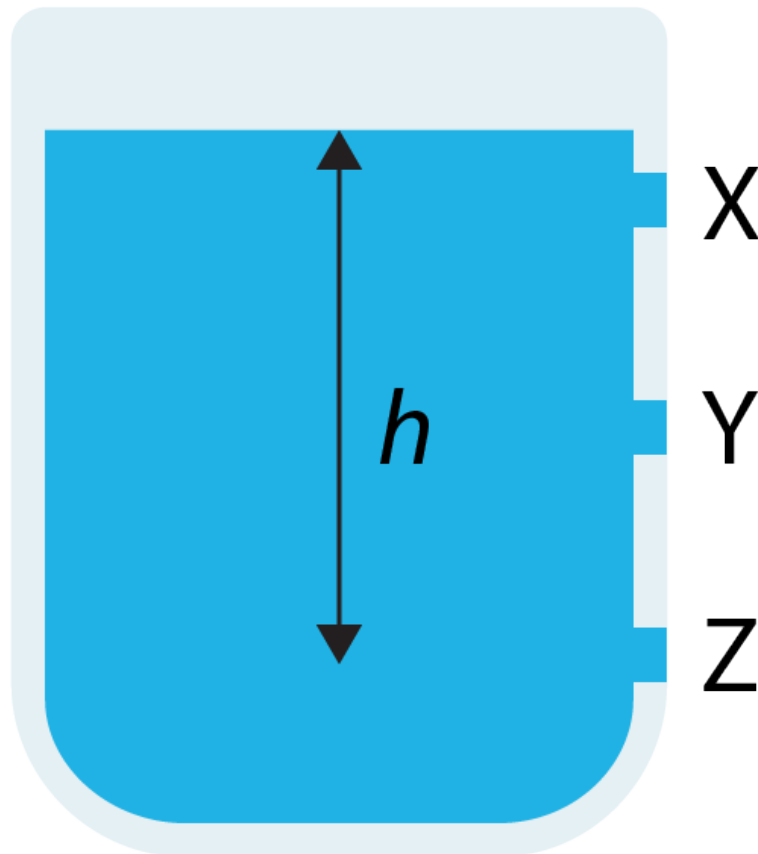
Sua pressão permanece a mesma e sua velocidade
aumenta.

Parabéns! A alternativa A está correta.

Pelo princípio da continuidade, como a área diminui, a velocidade
aumenta. Pelo princípio de Bernoulli, como a velocidade aumenta, a
pressão diminui.

Questão 5

Seja o recipiente a seguir preenchido com água:



São feitos três furos idênticos nesse recipiente: X, Y e Z. Em relação
às velocidades dos jatos de água que saem de cada furo (v_X , v_Y e
 v_Z), é **correto** afirmar que:

A

$$v_X = v_Y = v_Z$$

B $v_X > v_Y > v_Z$

C $v_X < v_Y < v_Z$

D $v_X > v_Y = v_Z$

Parabéns! A alternativa C está correta.

Pela equação de Bernoulli, temos:

$$\frac{\rho v^2}{2} + p + \rho gh = \text{constante}$$

Logo, analisando X e Y, primeiramente, podemos dizer que:

$$\frac{\rho v^2}{2} + p_X + \rho gh_X = \frac{\rho v_Y^2}{2} + p_Y + \rho gh_Y$$

Nos furos X e Y (e Z também), a pressão atmosférica atua, então: $p_X = p_Y = p_Z$. Dessa forma, a relação fica somente entre velocidade e altura.

Assim:

$$\frac{\rho v_X^2}{2} + \rho gh_X = \frac{\rho v_Y^2}{2} + \rho gh_Y$$

$$v_X^2 + 2gh_X = v_Y^2 + 2gh_Y \rightarrow v_Y^2 = v_X^2 + 2g(h_Y - h_X)$$

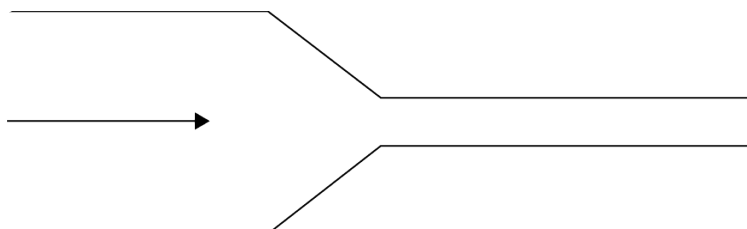
Como $h_Y > h_X$ (distância até o nível superior de água), então, $v_Y > v_X$.

Analogamente, $v_Z > v_Y$.

Note que essa equação é a mesma de Torricelli para Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV). Devido a isso, ela também é chamada de Equação de Torricelli para Hidrodinâmica.

Questão 6

(UFMS - 2004) Em um tubo cilíndrico horizontal, o líquido escoar no sentido mostrado na figura a seguir:



A pressão estática no eixo central da tubulação de maior diâmetro é (p_1), enquanto no eixo central da de menor diâmetro é (p_2). A densidade do líquido escoante é (ρ).

Alguns autores chamam de pressão cinética o fator $\frac{\rho v^2}{2}$ na equação de Bernoulli, e pressão estática o fator p .

Podemos afirmar que:

1. A pressão cinética na tubulação de maior diâmetro é menor do que na tubulação de menor diâmetro.
2. A pressão estática na tubulação de maior diâmetro é menor do que na tubulação de menor diâmetro.
4. A vazão na tubulação de maior diâmetro é igual à da tubulação de menor diâmetro.
8. A velocidade de escoamento na tubulação de maior diâmetro é maior do que na tubulação de menor diâmetro.
16. A vazão na tubulação de maior diâmetro é maior do que a da tubulação de menor diâmetro.

A soma das afirmativas **corretas** é igual a:

A 5

B 7

C 8

D 21

Parabéns! A alternativa A está correta.

Vamos analisar as afirmativas:

1. Correta

Pelo princípio da continuidade, a velocidade é menor na parte da tubulação de maior área. Dessa forma, como a pressão cinética é dada por $\frac{\rho v^2}{2}$ e ρ não varia (mesmo líquido), então, a pressão cinética será menor na parte de maior diâmetro.

2. Errada

Como o eixo central é o mesmo nas duas regiões, pela equação de Bernoulli, temos:

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} + \rho gh_1 = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho gh_2$$
$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} \rightarrow p_1 = p_2 + \left(\frac{\rho v_2^2}{2} - \frac{\rho v_1^2}{2} \right)$$

Como a velocidade na região 2 é maior que na região 1, então, $p_1 > p_2$.

4. Correta

Pelo princípio da continuidade, a vazão é constante. Logo, são iguais nas duas regiões da tubulação.

8. Errada

Conforme explicado na afirmativa 1.

16. Errada

Conforme explicado na afirmativa 4.

Logo, a soma das afirmativas corretas é: $1 + 4 = 5$.

Considerações finais

A introdução à física dos fluidos abrange a hidrostática e a hidrodinâmica, áreas fundamentais para a prática de diversas engenharias. Neste conteúdo, exploramos os três princípios essenciais da hidrostática: Stevin, Pascal e Arquimedes, assim como os dois princípios básicos da hidrodinâmica: o da continuidade e o de Bernoulli.

O conhecimento dos princípios de Stevin, Pascal e Arquimedes na hidrostática, bem como dos princípios de continuidade e Bernoulli na hidrodinâmica, permite que você entenda e resolva problemas relacionados ao comportamento dos fluidos em diferentes contextos, desde sistemas hidráulicos e pneumáticos até a aerodinâmica e a engenharia civil. Isso amplia suas habilidades analíticas e práticas, preparando você para enfrentar desafios técnicos em sua carreira futura.

Podcast

Ouçe e saiba mais sobre a física dos fluidos, incluindo a hidroestática e a hidrodinâmica.

Para ouvir o *áudio*, acesse a versão online deste conteúdo.



Explore +

Confira as indicações que separamos especialmente para você!

Pesquise e leia a obra:

Tópicos de Física, de Doca, Biscuola e Bôas (2012).

No apêndice do livro, os autores demonstram o teorema de Bernoulli e, a partir deste, a equação de Torricelli.

Pesquise e leia a investigação científica:

Experimento e aprendizagem: uma aula introdutória à Mecânica dos Fluidos. Dissertação de mestrado de Plauska (2013) que contempla alguns experimentos que comprovam o princípio de Bernoulli, além de fornecer um breve histórico da Mecânica dos Fluidos.

Para saber mais sobre a demonstração da pressão atmosférica, leia:

[Demonstração da pressão atmosférica por Torricelli e unidades de pressão.](#)

Referências

ARQUIMEDES. **The works of Archimedes**. Trad. T. L. Heath. New York: Dover, 1912.

BORGNAKKE, C.; SONNTAG, R. E. **Fundamentos da Termodinâmica**. São Paulo: Blucher, 2018.

FERREIRA, A. B. de H. **Novo dicionário Aurélio da Língua Portuguesa**. Curitiba: Positivo, 2004.

HALLIDAY, D.; WALKER, J.; RESNICK, R. **Fundamentos de Física 1**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

HARARI, Y. N. **Sapiens: uma breve história da humanidade**. São Paulo: L&PM, 2015.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Curso de Física**. São Paulo: Scipione, 2002.

MCPHEE, I. **Physics** – everyday science at the speed of light. Rio de Janeiro: Metro Books, 2010.

PALLADINO, V. **Qual é a cidade mais alta do Brasil?** Revista Superinteressante, jul. 2018.

PIFER, A.; AURANI, K. M. **A teoria analítica do calor de Joseph Fourier: uma análise das bases conceituais e epistemológicas**. Revista Brasileira de Ensino de Física, n. 1, v. 37, 2015.

ROONEY, A. **A história da Física: da filosofia ao enigma da matéria negra**. 1. ed. São Paulo: M. Books, 2013.

Material para download

Clique no botão abaixo para fazer o download do conteúdo completo em formato PDF.

[Download material](#)

O que você achou do conteúdo?



[Relatar problema](#)